

[13P-19]

Trial Fabrication of the Cu/Nb/Cu Sandwich Tube for Superconducting Cavities

T.Fujino, K.Saito, H.Inoue, S.Tsukada*), N.Hitomi, T.Shishido, E.Kako, M.Ono, K.Abe, T.Higuchi, S.Noguchi and Y.Yamazaki

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)
1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0801 Japan

*Hitachi Cable Ltd.

3550, Kidamari-cho, Tsuchiura-shi, Ibaraki-ken, 300-0026 Japan

Abstract

We are developing seamless superconducting RF cavities out of niobium/copper clad tubes in order to eliminate electron beam welding, which could reduce much the fabrication cost. The pipes needed to this strategy are fabricated by HIP bonding and tube drawing technique. In this paper, we report the trial fabrication.

超伝導シームレス空洞用 Cu/Nb/Cu サンドイッチ・チューブの試作

1. はじめに

Nb/Cu クラッドシームレス空洞を液圧バルジで製作するためには、その素材となるシームレスクラッド管が必要である。TESLA 計画のような大量の加速空洞が必要な時、その材料となるクラッド管もまた多量に供給しなければならない。このような場合、経済性を考慮すれば、長尺物のクラッド管を多量生産する技術が必要になる。このクラッド管は引抜き等による製管や空洞成型時の熱処理等の影響からニオブを保護するために、Cu/Nb/Cu の三層構造が望ましい。今回 L-バンド単セル空洞の用材である Cu/Nb/Cu 三層構造のクラッド管を HIP 接合と引抜き法を用いて試作した。これらについて報告をする。

2. クラッド素管

クラッド素管は肉厚で極太の短尺なクラッド管で、これを引抜き加工等により目的に見合った寸法の定寸管に製管するための素材である。空洞用のクラッ

ド管を製管して作る理由は、1) 長尺なクラッド定寸管の必要性、2) 加工硬化による銅の材料改善、3) 経済性、である。即ち L バンドの単空洞をバルジ成型で製作する場合のクラッド管の長さは 450 mm ~ 500 mm であるが、9セルの場合は約 2500 mm の長さが必要である。このような薄肉で長尺な形状のものを HIP 処理するのは、炉の規模や高温による被処理物に生じる歪みの点で問題である。また HIP 時の高温は銅の結晶粒の肥大化による肌荒れと伸びの減少を招き塑性加工に適さないが、製管による加工硬化は材料改善になる。更に製管による長尺管の製作は HIP 処理の回数が減るので経済的効果が大きい。

クラッド素管は外側の銅管（シームレス管）と内側の銅管（シームレス管）の中間に、銅管の長さより短いニオブ管（溶接管）を挟んだ Cu/Nb/Cu のサンドイッチ構造である。ニオブ管が挟まれていない両端部分にはニオブ管の径にほぼ同寸のダミーの銅

管を挟んである。この状態でニオブの全面が銅で包まれ、外部の環境が直接ニオブに作用することがなくなる。ニオブの全面を銅で包む理由は、HIP 処理や製管及び空洞成型の中間熱処理によるニオブ材の変質を防ぐためである。また引抜き工具との接触からニオブを保護するために、そして超伝導線の線引き加工の如く周囲の銅の伸びに引きずられてニオブが伸び易くなるためにも、この構造が必要である。

クラッド素管の両端部の各層の銅は互いに電子ビーム溶接した。従って各部材の間は真空状態である。素管の図面寸法は、外径 ϕ 195mm×内径 ϕ 165 mm×全長 670 mm である。ニオブと銅のクラッドは HIP 接合で行った。HIP 条件は 2000 気圧、800 °C、2 時間保持で母材の引張り強さ以上の接合強度が得られる。今回 3 本のクラッド素管を作った。

3. クラッド素管の製管

製管は素管の内径側にプラグ（心金）を挿入して外径側をダイスに通して、径と断面積を減らして所用寸法の定寸管に加工する。製管の方法は、短いショートプラグ（またはミドルプラグ）を管内に挿入して素管をダイスに引き通すショートプラグ方式と長い棒状（心金棒）のプラグを管内に挿入してダイスに押し込んで製管するロングプラグ方式がある。ショートプラグ方式は引抜きのための掴み代が 350mm 程必要で、この分だけ素管長が長くなる。ロングプラグ方式は素管の先端の僅かな長さ部分を絞り、棒状のプラグを管内の絞り面に当てて押す方式なので、ショートプラグ方式より素管の長さを短くできる。

3 本のクラッド素管の中、1 本 (No.3) は Tig 溶接で銅ロー付けして銅管を延長して掴み代を設け、ショートプラグ方式で製管した。他の 2 本 (No.1) と (No.2) は途中までロングプラグ方式で製管し、掴み代が設けられる程度の長さで管が伸びてから、ショートプラグ方式に切り替えて製管した。

主な製管条件は、1 回のダイス通過当たりの断面減少率 (Reduction/Pass) [%] とパス回数と中間ア

ニールの関係である。これらはパススケジュールとして予め計画する。勿論、製管途中で条件が合わない場合が生じたら、製品の状況から判断して適正なパススケジュールに変更する。引抜きの概念図を図 1 に示す。

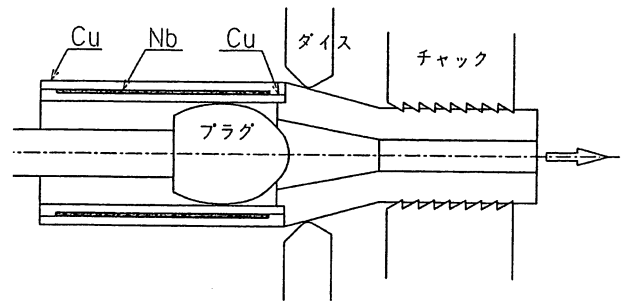


図 1 引抜きの概念図

4. 製管結果

今回の製管では、外径 ϕ 195mm×肉厚 14.45mm の素管を外径 ϕ 138mm×肉厚 3mm の定寸管に加工するのに、3 本とも 19 パス回数を要した。ダイスを通過させる引抜き力はリダクションによっても異なるが、最大で 73ton であり、銅を引抜く場合にほぼ同程度であった。ニオブが銅の間にサンドイッチされているが、断面積占有率が約 15% で小さいのでニオブの影響が表れないものと思われる。パススケジュールに於いて、(No.1) と (No.2) は 5 パスまではロングプラグ方式で、そしてこれ以降をショートプラグ方式で製管した。また中間アニールは 5、9、13 パスの後に合計 3 回実施した。リダクションは 20.9~5.3% (平均 9.3%) であった。(No.3) は全パスをショートプラグ方式で製管し、中間アニールは 3、7、9、13 の各パス後に合計 4 回実施した。またリダクションは 15.8~3.3% (平均 9.3%) である。

素管の偏肉率は 1.1~1.9% であったが、製管により 23.1~43.9% に大きく増加した (No.2)。この度合いは引抜きの後端側の方が、先端側より大きい。

偏肉が生じた主な原因として、外径の減少量が小さいために、ダイスのアプローチ（素管挿入側のテーパ部）面での素管の接触面積が少ないので、素管がダイスの中心からずれると考えられる。偏肉を少なくするためには適正なパススケジュールに変更する必要がある。大きな偏肉はバルジ成型の時、肉の薄い部分に応力が集中してバーストする恐れがある。

製管後のニオブと銅の接合状態を調べるために引抜きしたクラッド管から試料を採取して曲げ試験を行った。この結果（No.2）の一カ所で、外側の銅とニオブとの間で剥離が生じた。また試料の顕微鏡による断面観察を行ったが、この観察でも剥離が見ら

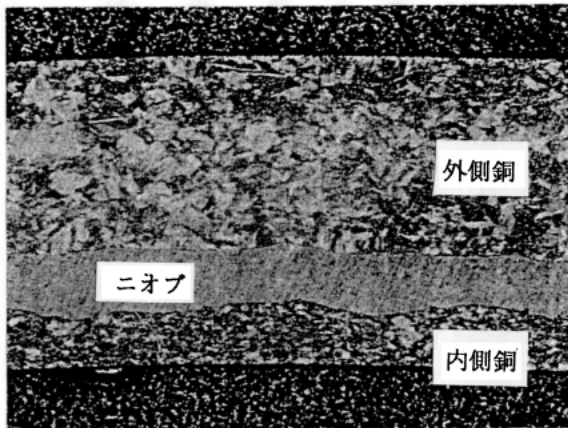


図2 正常なクラッド断面

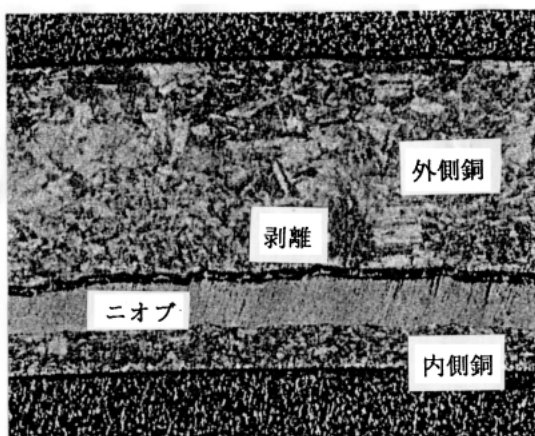


図3 剥離が生じた断面

れた。図2と図3に正常な断面と剥離が生じた断面

の写真を示す。更に断面写真から、ニオブの肉厚は一定に伸管されず、肉厚にバラツキがあることが確認された。ニオブの肉厚の不均一や凹凸形状がバルジ成型の悪い要因になることが懸念される。

バルジ用のサイズに引抜きしたクラッド管の写真を図4に示す。



図4 引抜き製管したクラッド管

5. まとめ

クラッド素管を引抜き法で伸管して長尺クラッド管に製管できたが、一部分に剥離が生じた。また偏肉やニオブ肉厚の不均一の問題がある。今後引抜き法に対する改良を加え、引抜き管を材料にして液圧バルジ成型で空洞を製作する。

謝辞

HIP 処理に関して金属技研（株）、クラッド管の製管に関して奥田金属（株）の各企業の方々のご協力に感謝いたします。